

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-261205

(43) 公開日 平成9年(1997)10月3日

(51)Int.Cl. <sup>9</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所	
H 0 4 J	14/00		H 0 4 B	9/00	E
	14/02				S
H 0 4 B	10/14				
	10/06				
	10/04				

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平8-61231

(22) 出願日 平成8年(1996)3月18日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 寺原 隆文

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
株式会社富士通研究所内

(74) 代理人 弁理士 松本 昂

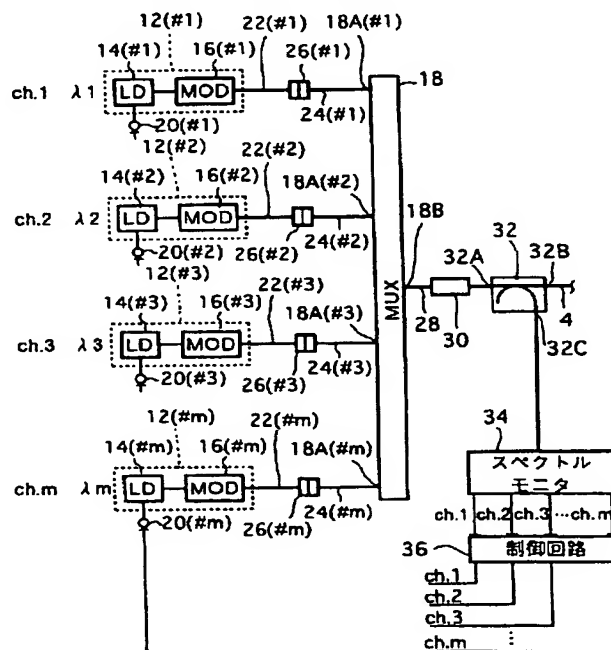
(54) 【発明の名称】 波長分割多重が適用されるシステム及び光パワー制御装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明はWDM（波長分割多重）が適用されるシステム及び光パワー制御装置に関し、WDM信号光における所望のパワーの相対性を得ることを課題とする。

【解決手段】 複数の光送信機12と、WDM信号光を生成する光マルチプレクサ18と、WDM信号光を分岐する光ビームスプリッタ32と、WDM信号光のスペクトルをモニタリングする手段34と、モニタリングされたスペクトルに基づき例えば各光送信機12を制御する制御回路36とから構成する。

送信局の第1実施形態を示すブロック図



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 受信局に適合する送信局を有するシステムであって、該送信局は、互いに異なる波長の信号光ビームをそれぞれ出力する複数の光送信機と、該信号光ビームをそれぞれ受ける複数の入力ポート及び少なくとも1つの出力ポートを有し上記信号光ビームを波長分割多重してWDM信号光を生成しこれを上記出力ポートから出力する光マルチプレクサと、該光マルチプレクサの出力ポートに動作的に接続され上記WDM信号光を第1及び第2の分岐光に分岐する光ビームスプリットと、上記第1の分岐光を受け上記各信号光ビームの波長を含む帯域における上記第1の分岐光のスペクトルをモニタリングする手段と、該モニタリングされたスペクトルに基づき上記各信号光ビームのパワーが依存するパラメータを制御して上記WDM信号光におけるパワーの相対性が一定に保たれるようにする制御手段とを備え、上記第2の分岐光が上記送信局から出力されるシステム。

【請求項2】 請求項1に記載のシステムであって、上記各光送信機は、レーザダイオードと、該レーザダイオードにバイアス電流を供給する手段とを含み、上記パラメータは上記各バイアス電流であるシステム。

【請求項3】 請求項1に記載のシステムであって、上記各光送信機及び上記光マルチプレクサの各入力ポートの間に動作的に接続され上記信号光ビームに対する可変の減衰率を有する複数の光アッテネータを更に備え、上記パラメータは上記各光アッテネータの減衰率であるシステム。

【請求項4】 請求項1に記載のシステムであって、上記各光送信機及び上記光マルチプレクサの各入力ポートの間に動作的に接続され上記信号光ビームに対する可変の利得を有する複数の光増幅器を更に備え、上記パラメータは上記各光増幅器の利得であるシステム。

【請求項5】 請求項4に記載のシステムであって、上記各光増幅器は、第1端及び第2端を有し該第1端には上記各光送信機からの信号光ビームが供給される希土類元素がドープされたドープファイバと、ポンプ光を出力する光源と、上記ポンプ光を上記第1端及び上記第2端の少なくともいずれか一方から上記ドープファイバへ供給するための光カップとを含み、上記各ドープファイバの第2端は増幅された信号光ビームを上記光マルチプレクサの各入力ポートへ供給し、上記各光増幅器の利得は上記各ポンプ光のパワーにより制御されるシステム。

【請求項6】 請求項1に記載のシステムであって、上記モニタリングする手段は、上記第1の分岐光を分光

する手段と、該分光された光を受ける位置に複数の光／電気変換エレメントを有する受光アレイと、該受光アレイの出力信号に基づき上記スペクトルにおける上記各光送信機に対応する複数のスペクトルピークの値を検出する手段とを備え、

上記制御手段は、上記複数のスペクトルピークの値の比が一定になるように上記パラメータを制御するシステム。

【請求項7】 請求項6に記載のシステムであって、上記分光する手段は回折格子からなるシステム。

【請求項8】 請求項1に記載のシステムであって、上記モニタリングする手段は、上記第1の分岐光から上記各信号光ビームの波長をそれぞれ有する複数の光成分を抽出する手段と、該各光成分を光／電気変換する複数のフォトディテクタとを含み、

上記制御手段は、上記複数のフォトディテクタの出力レベルの比が一定になるように上記パラメータを制御するシステム。

【請求項9】 請求項1に記載のシステムであって、上記各光送信機に動作的に接続され上記各信号光ビームを互いに異なる周波数のトーン信号により変調する手段を更に備え、

上記モニタリングする手段は、上記第1の分岐光を光／電気変換するフォトディテクタと、該フォトディテクタの出力信号から上記各トーン信号の周波数成分を抽出する検波手段とを含み、

上記制御手段は、上記検波手段により抽出された複数の周波数成分の比が一定になるように上記パラメータを制御するシステム。

【請求項10】 請求項1に記載のシステムであって、上記各光送信機と上記光マルチプレクサの各入力ポートとを動作的に接続するための複数の光ファイバを更に備え、

該光ファイバの各々は第1及び第2のファイバと該第1及び第2のファイバを着脱可能に接続する光コネクタとからなるシステム。

【請求項11】 それぞれ制御信号を受ける制御ポートを有し互いに異なる波長の信号光ビームを受けてそのパワーを上記制御信号に基づいて変化させて出力する複数の光パワー可変器と、

該各光パワー可変器からの信号光ビームを波長分割多重してWDM信号光を生成しこれを出力する光マルチプレクサと、

上記WDM信号光を受けこれを第1及び第2の分岐光に分岐する光ビームスプリットと、

上記第1の分岐光を受けそのスペクトルをモニタリングする手段と、

該モニタリングされたスペクトルに基づき上記各制御信号を制御して上記WDM信号光におけるパワーの相対性が一定に保たれるようにする制御手段とを備えた光パワ

一制御装置。

【請求項12】 請求項11に記載の装置であって、上記各光パワー可変器は可変な減衰率を有する光アッテネータからなり、該光アッテネータの減衰率が上記制御信号によって制御される装置。

【請求項13】 請求項11に記載の装置であって、上記各光パワー可変器は可変な利得を有する光増幅器からなり、該光増幅器の利得が上記制御信号によって制御される装置。

【請求項14】 互いに異なる波長を有する複数チャネルの信号光ビームを波長分割多重してなるWDM信号光を出力する第1の端局と、  
該WDM信号光を受ける第2の端局と、  
該第1の端局及び該第2の端局間に敷設される光伝送路とを備え、  
上記第2の端局は受けたWDM信号光に基づき各チャネルの信号対雑音比をモニタリングする手段を有し、  
上記光伝送路は、上記WDM信号光を上記第1の端局から上記第2の端局へ伝送するための第1の回線と、上記モニタリングされた信号対雑音比に関する監視信号を上記第2の端局から上記第1の端局へ伝送するための第2の回線とを含み、  
上記第1の端局は上記監視信号を受けこれに基づき上記第2の端局における各チャネルの信号対雑音比が等しくなるように上記各信号光ビームのパワーを制御する手段を含むシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般的に波長分割多重が適用されるシステム及び光パワー制御装置に関し、更に詳しくは波長分割多重信号光のスペクトルのモニタリングに基づく制御のためのシステム及び装置に関する。

【0002】光通信システムの大容量化を図るための技術として、波長分割多重(Wavelength-Division Multiplexing: WDM)に関する研究が盛んに行われている。WDMとエルビウム添加ファイバ増幅器(EDFA)とを組み合わせることにより、大容量で且つ長距離の光通信システムを構築することができる。

【0003】

【従来の技術】従来、送信局と、受信局と、送信局及び受信局間に敷設される光伝送路とを備えた光通信システムが知られている。このシステムにWDMが適用される場合、送信局は、互いに異なる波長の信号光ビームをそれぞれ出力する複数の光送信機と、これらの信号光ビームを波長分割多重してWDM信号光を生成しこのWDM信号光を出力する光マルチプレクサとを含む。

【0004】光マルチプレクサは少なくとも1つの出力ポートを有しており、これにより出力されたWDM信号光を少なくとも1回線の光伝送路へ送出することができ

る。このようにWDMが適用されるシステムにおいては、1回線あたりの伝送容量が増大するので、光通信システムの大容量化が可能になる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】WDMが適用されるシステムにおいては、各光送信機から光伝送路までの損失がばらつくので、光伝送路へ送出されるWDM信号光において所望のパワーの相対性を得ることができないという問題がある。

【0006】一方、光伝送路の途中にEDFAを有する光中継器が設けられている場合には、送信局でプリエンファシスを行うために、WDM信号光における所望のパワーの相対性を得ることが要求される。

【0007】よって、本発明の目的は、WDM信号光における所望のパワーの相対性を得ることができるシステムを提供することにある。本発明の他の目的は、このようなシステムに適用可能な光パワー制御装置を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の側面によると、受信局に適合する送信局を有するシステムが提供される。送信局は、互いに異なる波長の信号光ビームをそれぞれ出力する複数の光送信機と、該信号光ビームをそれぞれ受ける複数の入力ポート及び少なくとも1つの出力ポートを有し上記信号光ビームを波長分割多重してWDM信号光を生成しこれを上記出力ポートから出力する光マルチプレクサと、該光マルチプレクサの出力ポートに動作的に接続され上記WDM信号光を第1及び第2の分岐光に分岐する光ビームスプリッタと、上記第1の分岐光を受け上記各信号光ビームの波長を含む帯域における上記第1の分岐光のスペクトルをモニタリングする手段と、該モニタリングされたスペクトルに基づき上記各信号光ビームのパワーが依存するパラメータを制御して上記WDM信号光におけるパワーの相対性が一定に保たれるようにする制御手段とを備える。そして、上記第2の分岐光が上記送信局から出力される。

【0009】本発明の他の側面によると、それぞれ制御信号を受ける制御ポートを有し互いに異なる波長の信号光ビームを受けてそのパワーを上記制御信号に基づいて変化させて出力する複数の光パワー可変器と、該各光パワー可変器からの信号光ビームを波長分割多重してWDM信号光を生成しこれを出力する光マルチプレクサと、上記WDM信号光を受けこれを第1及び第2の分岐光に分岐する光ビームスプリッタと、上記第1の分岐光を受けそのスペクトルをモニタリングする手段と、該モニタリングされたスペクトルに基づき上記各制御信号を制御して上記WDM信号光におけるパワーの相対性が一定に保たれるようにする制御手段とを備えた光パワー制御装置が提供される。

【0010】本発明の更に他の側面によると、互いに異

なる波長を有する複数チャネルの信号光ビームを波長分割多重してなるWDM信号光を出力する第1の端局と、該WDM信号光を受ける第2の端局と、該第1の端局及び該第2の端局間に敷設される光伝送路とを備え、上記第2の端局は受けたWDM信号光に基づき各チャネルの信号対雑音比をモニタリングする手段を有し、上記光伝送路は、上記WDM信号光を上記第1の端局から上記第2の端局へ伝送するための第1の回線と、上記モニタリングされた信号対雑音比に関する監視信号を上記第2の端局から上記第1の端局へ伝送するための第2の回線とを含み、上記第1の端局は上記監視信号を受けこれに基づき上記第2の端局における各チャネルの信号対雑音比が等しくなるように上記各信号光ビームのパワーを制御する手段を含むシステムが提供される。

#### 【0011】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の望ましい実施形態を説明する。図1は本発明を適用可能な光通信システムのブロック図である。このシステムは、WDM信号光を出力する送信局2と、WDM信号光を伝送する光ファイバ伝送路4と、WDM信号光を受ける受信局6とを備えている。

【0012】光ファイバ伝送路4の途中には、WDM信号光を増幅する光増幅器8を含む光中継器10が複数設けられている。雑音発生等に関する説明の便宜上、各光増幅器8はEDFAであるとする。

【0013】図2は送信局の従来例を示すブロック図である。この送信局は、互いに異なる波長の信号光ビームをそれぞれ出力する $m$  ( $m$ は1よりも大きい自然数) 台の光送信機12 (#1～# $m$ ) を有している。光送信機12 (#1～# $m$ ) はそれぞれ第1チャネル ( $ch_1$ ) から第 $m$ チャネル ( $ch_m$ ) に対応している。また、光送信機12 (#1～# $m$ ) から出力される信号光の波長はそれぞれ $\lambda_1 \sim \lambda_m$  に設定されている。

【0014】光送信機12 (#1～# $m$ ) は、それぞれ、与えられた波長を有するキャリア光を発生するレーザダイオード14 (#1～# $m$ ) と、主信号に基づきキャリア光を変調して信号光ビームを出力する光変調器16 (#1～# $m$ ) とを有している。

【0015】 $ch_1$  から  $ch_m$  の信号光ビームは、光マルチプレクサ18において波長分割多重され、WDM信号光として光ファイバ伝送路4へ送出される。図3の(A)及び図3の(B)を参照すると、WDM信号光の伝送前後におけるスペクトルの変化の例が示されている。図3の(A)は伝送前のスペクトル、即ち送信局2が出力するWDM信号光のスペクトルを示している。ここでは、各チャネルの信号光ビームのパワーが等しいものとする。

【0016】図3の(B)は伝送後のスペクトル、即ち受信局6が受けるWDM信号光に関するスペクトルを示している。各光増幅器8において増幅された自然放光

(Amplified Spontaneous Emission : ASE) がWDM信号光に累積的に付加される結果、比較的なだらかなASEのスペクトルに各チャネルの鋭い信号光のスペクトルが重畳されている。

【0017】ここで、縦軸のスペクトル密度が対数表示である場合、信号光パワーとASEパワーのレベル差は光SNRに対応する。光SNRの「SNR」は信号対雑音比の略であり、信号光を光/電気変換した後の信号対雑音比は電気SNR又は単にSNRと称される。光SNR及び電気SNRは伝送品質を決定する重要なパラメータである。

【0018】WDM信号光を伝送する場合における技術的課題として、以下の2点が挙げられる。第1に、あるチャネルに対する光増幅器の利得及びASEのパワーは、そのチャネルの信号光ビームのパワーだけでなく他チャネルの信号光ビームのパワーにも依存する。それ故、WDM信号光におけるパワーの相対性が送信局で変化すると、各チャネルの伝送後の信号光パワー及び光SNRはその影響を受けて変動する。

【0019】従って、安定した伝送特性(受信局における電気SNR及び符号誤り率等)を得るためには、WDM信号光のトータルパワーだけでなくパワーの相対性についても制御を行うことが望ましい。

【0020】今、図2により説明した送信局を想定する。送信局が大規模になると、各光送信機12はそれぞれ別の場所に配置され、各光送信機12と光マルチプレクサ18の間は記号OCで示されるように光コネクタにより接続されることとなる。

【0021】また、光マルチプレクサ18の後ろに偏波スクランブラや監視信号重畳用外部変調器等の偏波依存性デバイスを記号PDDで示されるように配置する場合には、各光送信機12と偏波依存性デバイスとの間の光配線には偏波保持ファイバが用いられる。

【0022】このような送信局においては、光マルチプレクサ18の損失、光コネクタの接続損失及び偏波依存性デバイスの損失等による信号光ビームの損失量は、チャネル毎に異なる。また、これらの損失は偏波状態の変化に伴って変動する。

【0023】従って、各光送信機12が出力パワーについての自動レベル制御(ALC)の機能を有しているとしても、前述の損失のばらつきにより、送信局から出力されるWDM信号光におけるパワーの相対性が変動する。このことは、伝送特性の不安定を引き起こす原因となる。

【0024】第2に、光増幅器8における利得及びASEパワーはチャネル毎に異なるため、図3の(A)に示されるように伝送前の信号光ビームのパワーを各チャネルで等しい値に設定したとしても、伝送後におけるWDM信号光のパワーの相対性及び光SNRはチャネル毎に異なってしまう(図3の(B))。その結果、チャネル

毎に異なった伝送特性が得られる。

【0025】このような伝送特性のアンバランスはシステム運用上好ましくないため、これを回避するためにプリエンファシスと称される手法が提案されている。図4の(A)及び図4の(B)はプリエンファシスを行った場合の伝送前後のスペクトルの変化を示している。図4の(B)に示されるように伝送後にチャンネル毎に等しい光SNRが得られるように、伝送前に図4の(A)に示されるように信号光ビームのパワーをチャンネル毎に異なる値に設定するものである。

【0026】プリエンファシスの1つの方法は例えば以下の各ステップを含む。

- (a) 各信号光ビームのパワーを初期値に設定する。
- (b) チャンネル毎に伝送特性(例えば受信局における電気SNR:Q値)を測定する。
- 【0027】(c) 相対的に悪い電気SNRに対応するチャンネルの信号光ビームのパワーを増大させ逆に相対的に良好な電気SNRに対応するチャンネルの信号光ビームのパワーを減少させる。

【0028】(d) 各チャンネルの電気SNRが等しくなるまで(b)及び(c)のステップを繰り返す。このようなプリエンファシスを円滑に行うのに適したシステムについては後述する。

【0029】図5を参照すると、本発明が適用される送信局の第1実施形態が示されている。全図を通して実質的に同一の部分には同一の符号が付されている。前述した損失のばらつき等に係わらず、WDM信号光における所望のパワーの相対性を得るために、各光送信機12においてレーザダイオード14が出力するキャリア光のパワーが制御される。そのために、光送信機12(#1~#m)は、各レーザダイオード14のバイアス電流を制御するための制御端子20(#1~#m)をそれぞれ有している。

【0030】キャリア光は光変調器16(#1~#m)でそれぞれ主信号により変調されて信号光ビームとなり、これらの信号光ビームは光ファイバ22(#1~#m)を介して出力される。

【0031】光マルチプレクサ18は、信号光ビームをそれぞれ受ける複数の入力ポート18A(#1~#m)と少なくとも1つの出力ポート18Bとを有している。入力ポート18A(#1~#m)にはそれぞれ光ファイバ24(#1~#m)が接続されている。光ファイバ24(#1~#m)はそれぞれ光コネクタ26(#1~#m)により光ファイバ22(#1~#m)に着脱可能に接続されている。

【0032】光マルチプレクサ18は、入力ポート18A(#1~#m)にそれぞれ供給されたch. 1からch. mの信号光を波長分割多重してWDM信号光を生成する。WDM信号光は出力ポート18Bから光ファイバ28を介して偏波依存性デバイス30へ供給される。偏

波依存性デバイス30は例えば偏波スクランブラや監視制御用外部変調器である。

【0033】デバイス30から出力されたWDM信号光は、光カプラ(光ビームスプリッタ)32のポート32Aへ供給される。光カプラ32はポート32Aへ供給された光を例えば分岐比20:1で第1及び第2の分岐光に分岐し、第1及び第2の分岐光をそれぞれポート32B及び32Cから出力する。

【0034】ポート32Bには光ファイバ伝送路4(図1参照)が接続される。ポート32Cはスペクトルモニタ34に動作的に接続されている。本明細書において、光学部品同士が「動作的に接続される」というのは、ファイバ接続或いはコリメートビームを用いた空間接続により直接接続される場合を含み、更に、光フィルタ等の他の光学部品を介して接続される場合を含む。

【0035】スペクトルモニタ34は、信号光ビームの波長 $\lambda_1 \sim \lambda_m$ を含む帯域における入力光のスペクトルをモニタリングする。この入力光は光カプラ32で分岐されたWDM信号光である。

【0036】制御回路36は、スペクトルモニタ34におけるモニタリング結果を受け、WDM信号光におけるパワーの相対性が一定に保たれるようにするための制御信号をチャンネル毎に出力する。制御信号の各々は制御端子20(#1~#m)へ供給される。

【0037】図6はスペクトルモニタの第1実施形態を示す図である。このモニタは図5のスペクトルモニタ34として用いることができる。このスペクトルモニタは、メカニカルな部分を含む本体38と、本体38と付随的に設けられる信号処理回路40とを備えている。本体38は、光入力を受ける回折格子42と、回折格子42への入射角 $\theta$ を走査するためのスキャナ44と、回折格子42からの回折光を光/電気変換するO/Eコンバータ(フォトディテクタ)46とを有している。

【0038】O/Eコンバータ46の出力信号は信号処理回路40へ供給される。また、スキャナ44からの入射角 $\theta$ に関する信号も信号処理回路40へ供給される。光入力のうちO/E変換器46へ供給される成分の波長は、回折格子42への入射角 $\theta$ に依存するので、走査される $\theta$ に対応させてO/E変換器46の出力レベルを検出することによって、光入力のスペクトルを得ることができる。信号処理回路40はこのような原理に従ってWDM信号光における各信号光ビームのスペクトルピークの値をチャンネル毎に検出する。

【0039】図7はスペクトルモニタの第2実施形態を示す図である。このスペクトルモニタも図5のスペクトルモニタ34として用いることができる。光入力は凹面鏡48によってコリメートされて分光素子50へ供給される。スキャニングを不要にするために、この実施形態では、分光素子により分光された光を受ける位置に複数の光/電気変換エレメント54Aを有する受光アレイ5

4が設けられている。分光された光はレンズ52によって集束させられて波長に応じた位置の元素54Aに入射する。

【0040】分光された光の伝搬方向は、波長に応じて例えば紙面に平行な平面上で変化する。従ってこの場合には、元素54Aの配列方向を紙面に平行にしておくことによって、光入力のスเปクトルを得るための複数の信号がアレイ54から出力される。アレイ54としては、光通信で典型的に使用される波長1.3~1.5μm帯に感度のある材料を用いたPINフォトダイオードアレイやCCD（電荷結合素子）センサを用いることができる。

【0041】信号処理回路56はアレイ54からの信号を受け、WDM信号光における各チャネルのスเปクトルピークの値を検出する。分光素子50として回折格子を用いる場合、その角度分散は0.04度/nm程度であり、アレイ54における元素54Aのピッチは数10μm程度にすることができるので、各部品間の距離を適切に設計することにより、原理的には分解能0.1nm程度のスเปクトルモニタを提供することができる。

【0042】今、アレイ54における元素54AのピッチをW、アレイ54と分光素子50の間の距離をL、分光素子50の角度分散をD、分光素子50から互いに隣り合う2つの元素54Aを臨む角をφとするとときに波長分解能は、

$$2\phi/D = 2 \tan^{-1}(W/2/L)/D$$

で与えられるので、例えば、W=50μm、L=10cm、D=0.04度/nmとしたときに、0.072nmの分解能を得ることができる。

【0043】分光素子50としては、プリズムやVIPA（Virtually-Imaged Phased-Array）を用いることもできる。VIPAの角度分散は0.4~0.8度/nmであることが報告されており、これを用いることにより波長分解能を飛躍的に高めることができる。

【0044】尚、図示された例では信号処理回路40又は56は複数チャネルの信号を出力するように図示されているが、各チャネルの信号をまとめて例えばデジタルデータにより1つのチャネルで出力するようにしてもよい。

【0045】再び図5を参照して、制御回路36の具体的な動作を説明する。この実施形態では、送信局が大規模になることを想定して、各光送信機12の接続に光コネクタ26を用いている。このため、光送信機12からそれぞれ出力される信号光ビームのパワーが等しいとしても、光コネクタ26における接続損失のばらつきにより、光マルチプレクサ18から出力されるWDM信号光においては、各チャネルのスเปクトルピークの値がばらつくことになる。また、光送信機12における光変調器16の挿入損失のばらつきもスเปクトルピークをばらつかせる。

【0046】図8の（A）を参照すると、上述のような原因により各チャネルのスเปクトルピークがばらついたWDM信号光のスเปクトルが示されている。各チャネルのスเปクトルピークの値はスเปクトルモニタ34から制御回路36へ送られる。そして例えば図4の（A）に示されるようなプリエンファシスを行う場合には、各チャネルのスเปクトルピークの値をレーザダイオード14のバイアス電流にフィードバックして、図8の（B）に示されるようなスเปクトルが得られるようにするのである。このようなフィードバックループは演算増幅器及び可変参照電圧源を用いることにより容易に構成することができる。

【0047】この実施形態では、偏波依存性デバイス30が用いられているので、各光送信機12と偏波依存性デバイス30との間の光配線は偏波保持ファイバによりなされる。即ち、光ファイバ22、24及び28は偏波保持ファイバであり、光コネクタ26による光ファイバ22及び24の相互接続に際してはこれらの主軸同士が一致するように光コネクタ26における回転位置が調整される。

【0048】従ってこのような調整作業のばらつきも光マルチプレクサ18から出力されるWDM信号光におけるパワーの相対性を変化させることになる。本実施形態によれば、光コネクタ26の調整作業が終了した後に制御回路36を動作させることによって、WDM信号光における所望のパワーの相対性を得ることができ、それにより例えばプリエンファシスを正確に行うことができる。

【0049】図9を参照すると、本発明が適用される送信局の第2実施形態が示されている。光送信機12（#1~#m）から出力された信号光ビームは、それぞれ光アッテネータ58（#1~#m）を通して光マルチプレクサへ供給される。

【0050】光減衰器58（#1~#m）の減衰率は、制御端子60（#1~#m）へ供給される制御信号によってそれぞれ変化させることができる。制御端子60（#1~#m）は制御回路36に接続される。

【0051】即ち、ここではWDM信号光における所望のパワーの相対性を得るために、各レーザダイオード14のバイアス電流が制御されるのではなく、各光アッテネータ58の減衰率が制御されるのである。

【0052】減衰率が可変な光アッテネータは、例えば、信号光ビームが透過する磁気光学結晶と、磁気光学結晶が旋光性を有するように磁気光学結晶に調整可能な磁界を印加する手段と、磁気光学結晶の出力光が透過する偏光子とから構成される。

【0053】偏光子から出力される光のパワーは磁気光学結晶における旋光角によって決定されるので、印加する磁界を調整することによって、減衰率を変化させることができる。



【0054】図10を参照すると、本発明が適用される送信局の第3実施形態が示されている。図9の光アッテネータ58（#1～#m）にそれぞれ代えて光増幅器62（#1～#m）が設けられている。

【0055】光増幅器62（#1～#m）はそれぞれ利得を変化させるための制御端子64（#1～#m）を有しており、これらの端子には制御回路36からの制御信号がそれぞれ供給される。

【0056】このように本実施形態では、WDM信号光における所望のパワーの相対性が得られるように各チャネルの光増幅器62の利得が制御される。尚、この実施形態では、光カプラ32及び／又はスペクトルモニタ34の偏波依存性による制御誤差をなくすために、光カプラ32とスペクトルモニタ34の間に偏波スクランブラ66を設けている。

【0057】図11は図10の各光増幅器62として用いることができる光増幅器のブロック図である。この光増幅器は、第1端68A及び第2端68Bを有するドーパファイバ68と、ポンプ光を出力するポンプレーザダイオード（ポンプLD）70と、ポンプ光を第2端68Bからドーパファイバ68へ供給するための光カプラ72とを備えている。

【0058】増幅すべきWDM信号光の波長が1.55 $\mu$ m帯にある場合、ドーパファイバ68のドーパントとしてはEr（エルビウム）が適しており、この場合ポンプ光の波長としては0.98 $\mu$ m帯又は1.48 $\mu$ m帯が有力である。

【0059】ドーパファイバ68がポンプ光によりポンピングされている状態で、WDM信号光が光アイソレータ74を介して第1端68Aからドーパファイバ68へ供給されると、ドーパファイバ68内においてWDM信号光が増幅される。

【0060】増幅されたWDM信号光は、光カプラ72及び光アイソレータ76をこの順に通ってこの光増幅器から出力される。この光増幅器の利得はポンプLD70が出力するポンプ光のパワーに依存するので、制御端子64に入力した制御信号によってポンプLD70のバイアス電流が調整されるようにするとよい。

【0061】光カプラ72としては、カップリング比が波長に依存するWDMカプラを用いることができる。図示された例では、光カプラ72をドーパファイバの第2端68Bに接続してWDM信号光とポンプ光とがドーパファイバ68内を逆方向に伝搬するようにしている。即ちバックワードポンピングである。

【0062】ポンプ光源をドーパファイバの第1端68Aに動作的に接続してWDM信号光及びポンプ光がドーパファイバ68内を同方向に伝搬するようにし、フォワードポンピングを行うようにしてもよい。

【0063】また、2台のポンプ光源を用いて双方向ポンピングを行ってもよい。図12はスペクトルモニタの

第3実施形態を示すブロック図である。このスペクトルモニタは図5等におけるスペクトルモニタ34として用いることができる。

【0064】このスペクトルモニタは、WDM信号光を受け各チャネルの信号光ビームの波長 $\lambda_1 \sim \lambda_m$ をそれぞれ有する複数の光成分を抽出する光デマルチプレクサ78と、各光成分を光／電気変換するO／Eコンバータ84（#1～#m）とを備えている。

【0065】光デマルチプレクサ78は、 $1 \times m$ 光カブラ80と、光カブラ80及びO／Eコンバータ84（#1～#m）との間にそれぞれ接続される光帯域通過フィルタ82（#1～#m）とからなる。

【0066】光帯域通過フィルタ82（#1～#m）の通過帯域の中心波長はそれぞれ $\lambda_1 \sim \lambda_m$ に設定されている。この構成によると、例えば図8の（A）に示される各チャネルのスペクトルピークのパワーに対応したO／E変換器84（#1～#m）の出力信号を得ることができるので、これらの信号に基づいてWDM信号光における所望のパワーの相対性を得ることができる。

【0067】尚、光マルチプレクサ78は機能的には光マルチプレクサ18と逆であるので、同じものを共通に使用することもできる。光マルチプレクサ（デマルチプレクサ）としては、回折格子、レンズ及び導波路コンセントレータを用いたもの（1995年電子情報通信学会総合大会B-1102）やアレイ導波路回折格子（AWG）を用いたもの（1995年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会C-227）が知られている。

【0068】図13を参照すると、本発明が適用される送信局の第4実施形態が示されている。ここでは、簡単な光学部品を有する特殊なスペクトルモニタ86がこれまでに説明されたスペクトルモニタ34に代えて設けられている。

【0069】このスペクトルモニタ86の使用を可能にするために、光送信機12（#1～#m）には、各々の出力する信号光ビームを互いに異なる周波数 $f_1 \sim f_m$ のトーン信号により変調するための発振器88（#1～#m）が設けられている。

【0070】トーン信号の周波数 $f_1 \sim f_m$ は各光変調器16における主信号によるキャリア光の変調に悪影響を与えないために、各主信号の周波数よりも十分低い周波数に設定される。

【0071】ここでは各トーン信号によりレーザダイオード14のバイアス電流が変調されるようにしているが、主信号用の光変調器16とは別にトーン信号用の光変調器を付加してもよいし、或いは、光変調器16に供給される主信号にトーン信号を重畳してもよい。

【0072】図14を参照すると、スペクトルモニタの第4実施形態が示されている。このモニタは図13のスペクトルモニタ86として用いることができる。このスペクトルモニタは、受けたWDM信号光を光／電気変換

するO/Eコンバータ90と、O/Eコンバータ90の出力信号から各トーン信号の周波数成分を抽出する検波回路92とを備えている。

【0073】検波回路92は、O/E90の出力信号がそれぞれ供給される帯域通過フィルタ94（#1～#m）と、これらの後に設けられる振幅検出器96（#1～#m）とを有している。

【0074】帯域通過フィルタ94（#1～#m）の通過帯域の中心周波数はそれぞれ各チャンネルのトーン信号の周波数 $f_1 \sim f_m$ に設定されている。WDM信号光において或るチャンネルのスペクトルピークに注目すると、そのスペクトルピークの値は重畳されているトーン成分の振幅に比例する。従って、このような検波回路92の各チャンネルの出力信号に基づいて制御回路36（図13参照）が動作することによって、WDM信号光における所望のパワーの相対性を得ることができる。

【0075】検波回路92に代えて通常の同期検波回路を用いることもできる。この場合、O/E変換器90の出力信号はm台のミキサ（図示せず）に供給される。各ミキサに供給する参照信号としては、図13の発振器88（#1～#m）からのトーン信号をそのまま用いることができる。

【0076】以上説明した送信局の各実施形態においては、主信号による変調に光変調器16を用いているが、光変調器16によらずにレーザダイオード14の直接変調を採用してもよい。

【0077】図15及び図16はそれぞれ本発明の光パワー制御装置の第1及び第2実施形態を示すブロック図である。図15は図9の構成から光送信機12（#1～#m）を取り外した状態に対応しており、図16は同様に図10に対応している。

【0078】各図において、符号26Aは光コネクタ26（#1～#m）の半部材を示している。送信局が大規模になる場合、光送信機はそれぞれ別の場所（例えばある架における別の棚或いは別の架）に配置されるので、着脱可能な光コネクタに適用される本発明の光パワー制御装置は有用である。尚、光パワー制御装置の動作については、本発明が適用される送信局の動作において詳細に説明してあるので、その説明を省略する。

【0079】図17を参照すると、本発明を適用可能な他のシステムが示されている。このシステムは、第1の端局98と、第2の端局100と、端局98及び100間に敷設される2回線（102A及び102B）を含む光伝送路102とを備えている。

【0080】光伝送路102の途中には複数の光中継器104が設けられている。各光中継器104は、回線102Aに適合する光増幅器106と回線102Bに適合する光増幅器108とを有している。

【0081】第1の端局98はWDM信号光を出力する光送信装置110を有している。光送信装置110は、

例えば、図2に示される構成と光パワー制御回路112とを有している。

【0082】光パワー制御回路112は、光送信装置110が出力するWDM信号光におけるパワーの相対性を制御するためのものであり、例えば図9の複数の光アッテネータ58或いは図10の複数の光増幅器62を含んで構成される。光アッテネータ或いは光増幅器を含まずに各チャンネルの光源のパワーが制御されてもよい。

【0083】光送信装置110が出力したWDM信号光は、回線102A及び光増幅器106を通過して第2の端局100へ送られる。端局100は送られてきたWDM信号光を受ける光受信装置114を有している。光受信装置114には電気SNRモニタ116が接続されており、WDM信号光における光SNRに対応する電気SNRがチャンネル毎に測定される。電気SNRモニタ116としては、市販されているQ値（クオリティファクター）モニタを用いることができる。

【0084】第2の端局100は信号光（WDM信号光が望ましいがそれには限定されない）を出力する光送信装置118を更に有している。この信号光は回線102B及び光増幅器108により第1の端局98へ送られる。

【0085】第1の端局98は送られてきた信号光を受けるための光受信装置120を有している。第2の端局100は、電気SNRモニタ116によってモニタリングされたSNRに関する監視信号を生成する監視制御装置122を有している。監視信号は例えば光送信装置118において信号光に重畳され、第1の端局98へ送られる。

【0086】第1の端局98では、光受信装置120が受けた信号光に基づき或いは光受信装置120が出力する電気信号に基づき、監視制御装置124が送られてきた監視信号を再生する。そしてこの監視信号に基づき光パワー制御回路112がWDM信号光におけるパワーの相対性を制御する。

【0087】監視制御装置124及び光パワー制御回路112は、例えば、第2の端局100が受けるWDM信号光の各チャンネルのSNRが等しくなるように、光送信装置110においてプリエンファシスを行う。このようなプリエンファシスは、前述した理由により光増幅器106がEDFAである場合に特に有効である。

【0088】一般に、第1の端局98と第2の端局100は遠隔地にあるため、本発明が適用されるこのシステムはプリエンファシス等における調整の円滑化に対して極めて効果的である。即ち、光送信装置110からのWDM信号光が自回線102Aを通過して第2の端局100へ送られ、その結果判明するSNRの劣化に関する情報を他回線102Bにより第1の端局98へ転送するようにしているので、第1の端局98においてプリエンファシスを容易に行うことができるものである。



【0089】また、第1の端局98の監視制御装置124にコンピュータを適用することにより、プリエンファシスの自動化が可能になる。コンピュータは送られてきた監視信号に基づき光送信装置110が出力するWDM信号光において最適なパワーの相対性が得られるような各チャネルの信号光ビームのパワーを算出する。そしてそのパワーの算出値に基づいて各チャネルの光送信機が制御される。

【0090】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、WDM信号光における所望のパワーの相対性を得ることができるシステム又は装置の提供が可能になるという効果が生じる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を適用可能なシステムのブロック図である。

【図2】送信局の従来例を示すブロック図である。

【図3】伝送前後のスペクトルの変化の例を示す図である。

【図4】プリエンファシスを行った場合の伝送前後のスペクトルの変化を示す図である。

【図5】送信局の第1実施形態を示すブロック図である。

【図6】スペクトルモニタの第1実施形態を示す図である。

【図7】スペクトルモニタの第2実施形態を示す図である。

【図8】制御回路の動作の説明図である。

【図9】送信局の第2実施形態を示すブロック図である。

【図10】送信局の第3実施形態を示すブロック図である。

【図11】光増幅器のブロック図である。

【図12】スペクトルモニタの第3実施形態を示す図である。

【図13】送信局の第4実施形態を示すブロック図である。

【図14】スペクトルモニタの第4実施形態を示すブロック図である。

【図15】光パワー制御装置の第1実施形態を示すブロック図である。

【図16】光パワー制御装置の第2実施形態を示すブロック図である。

【図17】本発明を適用可能な他のシステムのブロック図である。

【符号の説明】

2 送信局

4 光ファイバ伝送路

6 受信局

8, 62, 106, 108 光増幅器

10, 104 光中継器

12 光送信機

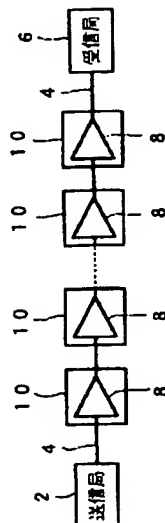
18 光マルチプレクサ

34, 86 スペクトルモニタ

36 制御回路

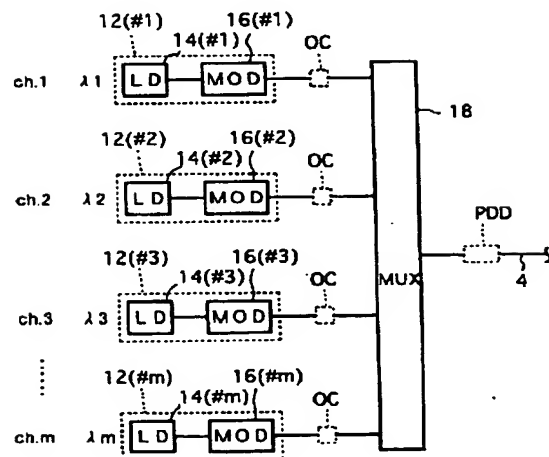
【図1】

本発明を適用可能なシステムのブロック図



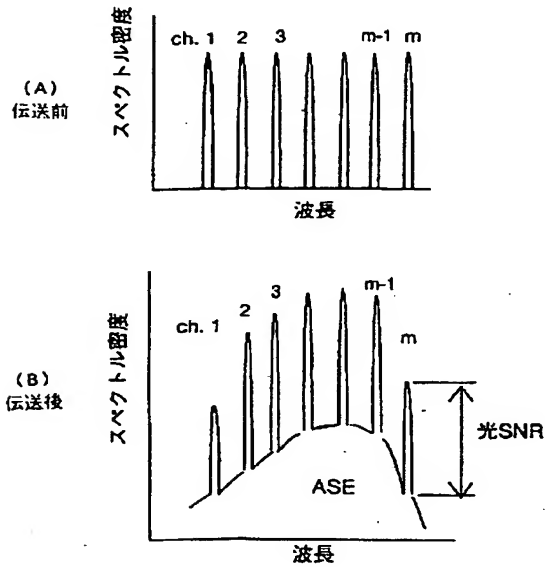
【図2】

送信局の従来例を示すブロック図



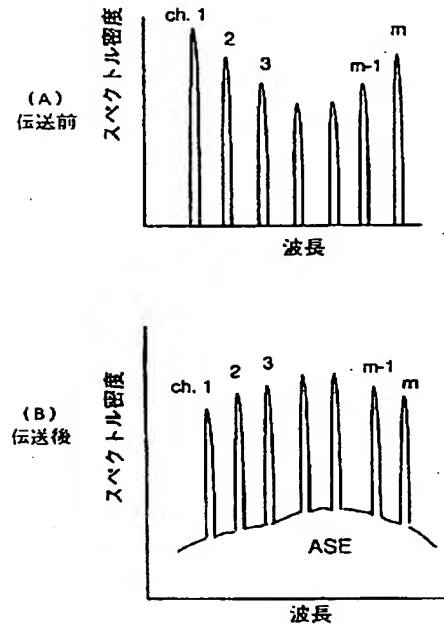
【図3】

伝送前後のスペクトルの変化の例を示す図



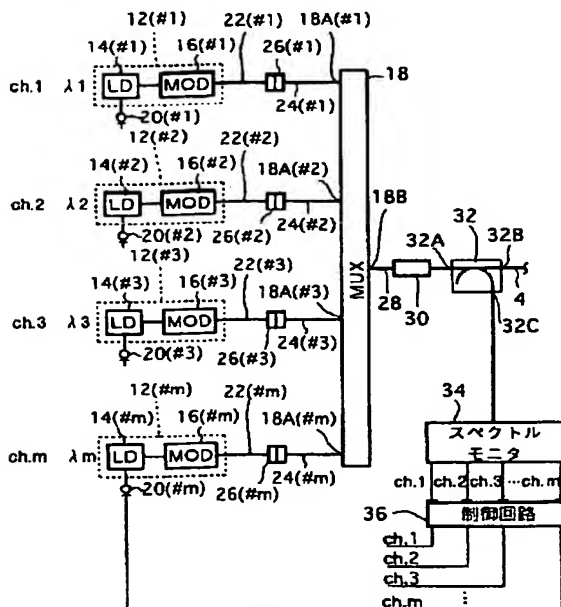
【図4】

プリエンファシスを行った場合の伝送前後のスペクトルの変化を示す図



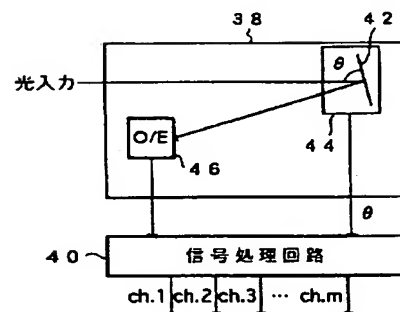
【図5】

送信局の第1実施形態を示すブロック図



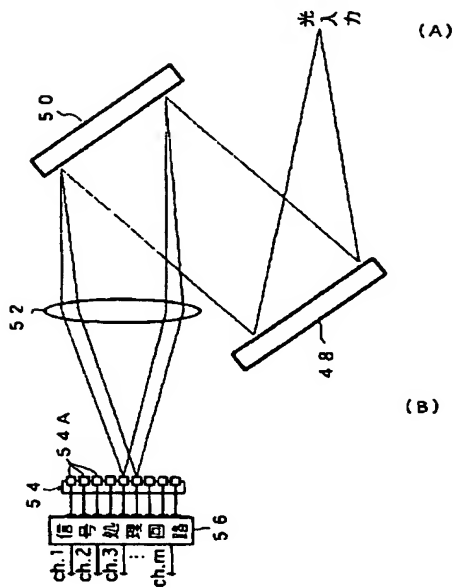
【図6】

スペクトルモニタの第1実施形態を示す図



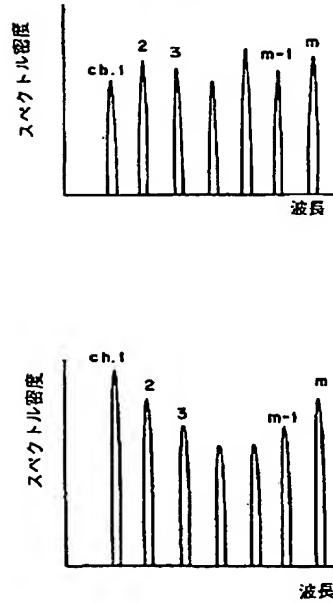
【図7】

スペクトルモニタの第2実施形態を示す図



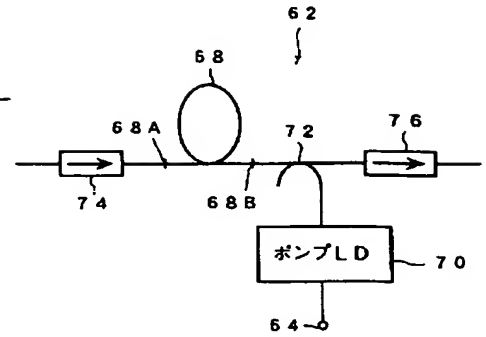
【図8】

制御回路の動作の説明図



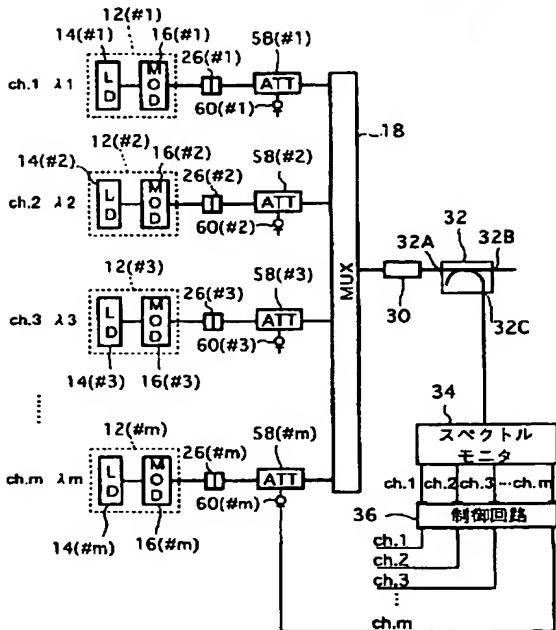
【図11】

光増幅器のブロック図



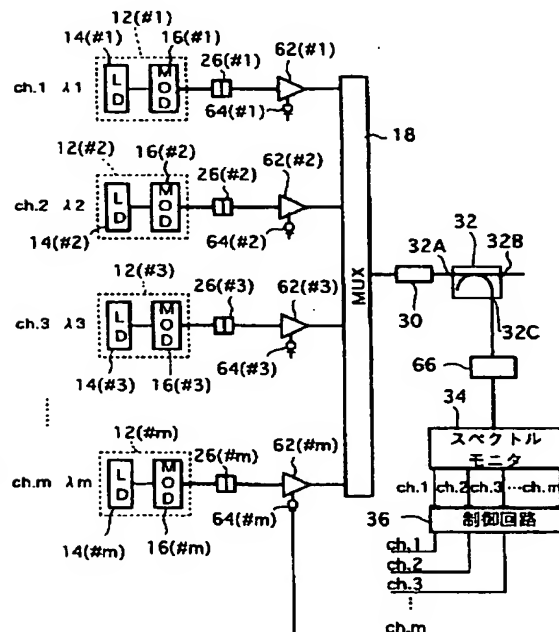
【図9】

送信局の第2実施形態を示すブロック図



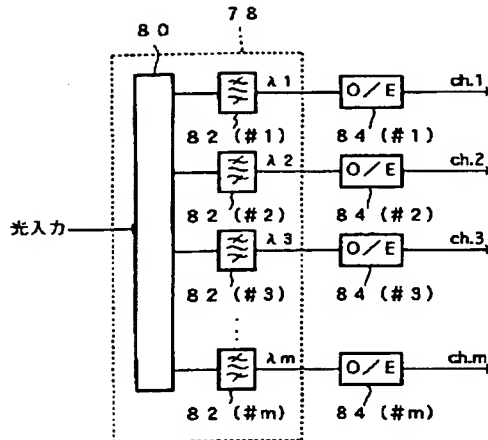
【図10】

送信局の第3実施形態を示すブロック図



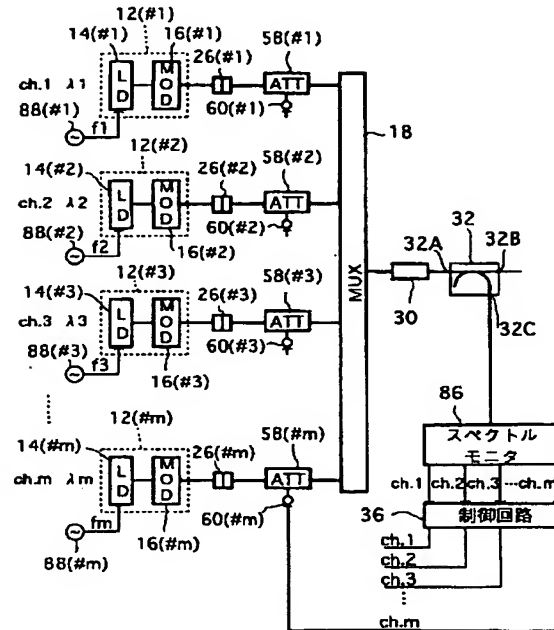
【図12】

スペクトルモニタの第3実施形態を示すブロック図



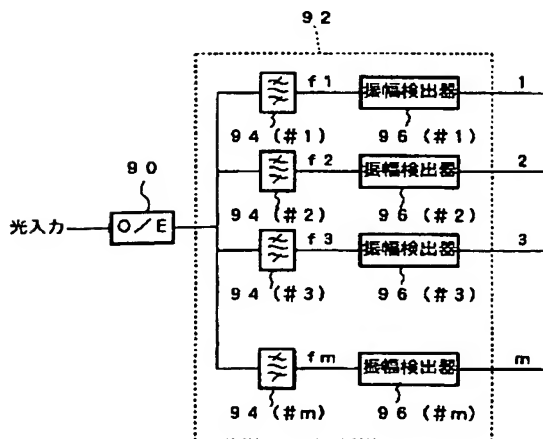
【図13】

送信局の第4実施形態を示すブロック図



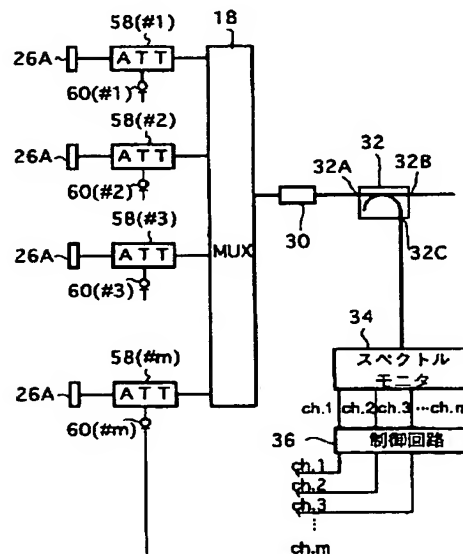
【図14】

スペクトルモニタの第4実施形態を示すブロック図



【図15】

光パワー制御装置の第1実施形態を示すブロック図



【図17】

### 本発明を適用可能な他のシステムのブロック図

